

Modelo analítico para el dimensionado de la RPT/RDSI con tráfico de voz y acceso a Internet

K. D. Hackbarth
Departamento de
Ing. de Comunicaciones
Universidad de Cantabria
klaus@tlmat.unican.es

Carlos Díaz
Departamento de
Ing. de Comunicaciones
Universidad de Cantabria
cdiaz@tlmat.unican.es

L. Rodríguez de Lope
Departamento de
Ing. de Comunicaciones
Universidad de Cantabria
laura@tlmat.unican.es

Abstract—Internet access through the public switched telephone network, PSTN/ISDN, produces changes in the characteristics of traffic managed by this kind of networks. Under this situation, traditional network dimensioning using Erlang model results excessively optimistic. This article develops a simple model to approach traditional methods to current PSTN/ISDN traffic features including the effect of call repetition. The analytical model obtained for traffic dimensioning is validated with simulation models, and have been integrated in tools for design and dimensioning of PSTN/ISDN networks.

Keywords: Switched Networks Dimensioning, Call Repetition.

I. INTRODUCCIÓN

La introducción de nuevos tipos de usuarios y las modificaciones que se han introducido en los existentes han modificado en gran medida el comportamiento del tráfico en la red conmutada. Por ello, las fórmulas tradicionales por sí solas se muestran insuficientes para el correcto dimensionado de la red. Sin embargo el amplio trabajo desarrollado a partir de los estudios de R. K. Erlang para el dimensionado de diferentes redes y tipos de tráfico hacen de ellas una sólida base desde la cual se pueden desarrollar modelos para el dimensionado de las redes conmutadas tradicionales incluyendo dichas modificaciones. El fenómeno de impaciencia ha sido tratado anteriormente, véase [1] [2], pero ha quedado abierto al desarrollo de un modelo para el dimensionado.

A lo largo de este artículo se expone el desarrollo de un modelo de dimensionado basado en la fórmula de Erlang-B, tratando los tráficos dominantes en la red conmutada (voz e Internet) e introduciendo el fenómeno de repetición de llamadas (modelo de impaciencia).

II. MODELO DE IMPACIENCIA

La fórmula de Erlang no tiene en cuenta aspectos tales como qué ocurre con las llamadas sin éxito. Se debe considerar que algunos usuarios tratarán de repetir sus llamadas cuando estas no tengan éxito, lo que rompe la condición de independencia del modelo. Si el tiempo que transcurre entre dos intentos es inferior al de duración media de las llamadas es muy posible que la nueva llamada tampoco tenga éxito.

A. Tráfico de Voz

Asumimos que la llamada repetida tiene la misma probabilidad de bloqueo que la original y que la probabilidad de

repetir k veces una llamada que ha sido rechazada $k-1$ veces es $P_r(k)$. Esto lleva a un tráfico total de:

$$A_v^t = A_v^0 \cdot \left[1 + \sum_{k=1}^{\infty} (P_b^k \cdot \prod_{j=1}^{\infty} P_r(j)) \right] \quad (1)$$

Se plantean dos opciones para el desarrollo de $P_r(k)$:

- 1) $P_r(k) = P_r^k$
- 2) $P_r(k) = P_r$

Los sistemas modernos de telefonía tienen capacidad de avisar al usuario, mediante mensajes de voz, de la congestión existente en la red, situación que se ajusta a la primera opción. La segunda opción resulta de un usuario impaciente que vuelve a intentar su llamada una y otra vez cada vez que esta es rechazada. Para este desarrollo, se utilizará la segunda por establecer condiciones más restrictivas. De este modo la expresión (1) se reduce a la expresión (2).

$$A_v^t = A_v^0 \cdot \left[1 + \sum_{k=1}^{\infty} P_b^k \cdot P_r^k \right] \quad (2)$$

Para valores típicos de $P_r=0.5$, los términos correspondientes en la expresión (2) convergen rápidamente a valores pequeños por lo que para el dimensionado se debe tener en cuenta un ligero incremento del tráfico ofrecido:

$$A_v^t = \frac{A_v^0}{1 - P_b \cdot P_r} \quad (3)$$

Esto conlleva un incremento respecto al número de circuitos original. En general, este incremento puede ser expresado como un factor de incremento del número de circuitos (f_{ric}), el tráfico (f_{rit}), o la probabilidad de bloqueo (f_{rib}):

De (3) se puede deducir que f_{rit} , f_{ric} y f_{rib} son función de A_v^0 , P_b y P_r . En general resulta que, en situaciones de carga normal de la red, la influencia de la repetición de llamadas se traduce, en el peor de los casos, en un pequeño incremento del tráfico ofrecido, véase la Tabla I.

Como para los propósitos del estudio los valores de las probabilidades se fijan, típicamente a $P_b=0.01$ y $P_r=0.5$, estos factores sólo dependen del tráfico ofrecido (de forma recursiva).

Para facilitar el cálculo de los tres factores de sobrecarga, se ha desarrollado una fórmula aproximada que relaciona f_{rib} con

P_b	P_r	A_v^t	N	f_{rit}	f_{ric}
0.01	0	200	221	1	1
0.01	0.25	200.501	222	1.0025	1.0045
0.01	0.5	201.005	222	1.005	1.0045
0.01	0.75	201.511	223	1.0076	1.009
0.01	1	202.02	223	1.0101	1.009

TABLE I

EJEMPLO DEL INCREMENTO DE TRÁFICO Y CIRCUITOS DEBIDO A LA REPETICIÓN DE LLAMADAS

A^0 de forma que evita la recursión. Esta relación se muestra en la ecuación (4).

$$f_{rib} = 1 + c \cdot (A_v^0)^\alpha \quad (4)$$

con $c = 0.012$ y $\alpha = 0.45$

La Figura 1 muestra el incremento del bloqueo debido a la repetición de llamadas en relación al tráfico ofrecido según la fórmula (3) y su aproximación (4).

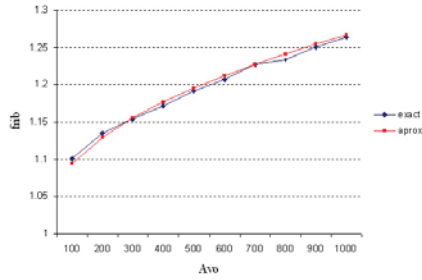


Fig. 1. Dependencia del incremento de bloqueo con el tráfico ofrecido.

En este apartado se han considerado unas condiciones implícitas al desarrollo del modelo:

- 1) Estado estacionario tanto en la llegada como en la terminación de llamadas.
- 2) Tráfico poissoniano para la suma de tráfico original y de repetición de llamada.
- 3) Misma probabilidad de bloqueo para el tráfico original y el causado por la repetición de llamada.

La primera y segunda condición se cumplen debido a la asunción de que la llamada de voz es corta comparada con el tiempo de observación y que el tráfico de repetición es pequeño comparado con el tráfico original. La tercera requiere que el tiempo entre terminaciones de llamada sea significativamente menor que el tiempo entre la llamada original y el reintento, t_r . Suponiendo un valor medio de $t_r=30s$, siendo el tiempo entre terminaciones $t_{idep} = t_s/N$, para $t_s=180s$ y $N=221$, resulta un valor de 0.81 seg.

Como resumen se deduce que el tráfico de repetición de llamadas de voz tiene escasa influencia sobre el tráfico original bajo situaciones normales (sin congestión).

B. Tráfico de acceso a Internet

Las tres condiciones mencionadas en la sección anterior para el tráfico de voz, en general, no se cumplen en el caso de tráfico Internet. Asumimos que el tiempo de observación es suficientemente amplio como para que se cumpla la primera condición y que el tráfico total ofrecido puede ser modelado de forma aproximada por una distribución de Poisson. Desafortunadamente, la tercera condición no se cumple en el caso de tráfico de Internet, en el que el tiempo entre rellamadas (t_r) es del orden de 30 seg mientras el t_{idep} depende del número de servidores, por lo que se hace necesario estudiar tres casos distintos.

- 1) $t_{idep} \ll t_r$: en este caso la llamada repetida tiene aproximadamente la misma probabilidad de bloqueo que la original y por lo tanto podemos asumir $P_{rb} = P_b$.
- 2) $t_{idep} \approx t_r$: en el caso de que ambos valores se encuentran en el mismo rango es necesario tener en cuenta que el tiempo entre llegadas $t_{ia} = t_{idep} \cdot N/A$ es también comparable a t_r , y por lo tanto, la probabilidad de que la llamada repetida vuelva a encontrar una situación de bloqueo va a ser alta, es decir, $P_{rb} \gg P_b$.
- 3) $t_{idep} \gg t_r$: en este caso la llamada repetida encontrará de nuevo la situación bloqueada, por lo que se puede asumir $P_{rb} \approx 1$.

El caso 1 correspondería con valores de N en torno a 600, lo que supone valores de tráfico Internet superiores a 600 Erlang. Para tráfico inferior a este orden de valores la probabilidad de que un servicio se libere en un tiempo t_r es pequeña, por lo que la probabilidad de bloqueo de una llamada repetida es superior a la de la llamada original, y previsiblemente muy alta.

En este caso, la probabilidad de bloqueo total aumenta en función del número de reintentos, hecho que se muestra en (5), siendo n_{max} el número máximo de reintentos, véase [1].

$$P_{tot} = \frac{P_b \cdot \sum_{i=0}^{n_{max}} P_{rb}^i}{1 + P_b \cdot \sum_{i=0}^{n_{max}-1} P_{rb}^i} \quad (5)$$

Para los casos 2 y 3 la probabilidad de pérdida de las llamadas repetidas va a ser alta, ya que la probabilidad de que una llamada finalice en el tiempo que transcurre entre la llamada inicial y la repetición es muy pequeña. Con esto (5) se simplifica, obteniendo la expresión (6).

$$P_{tot} = \frac{P_b \cdot (n_{max} + 1)}{1 + P_b \cdot n_{max}} \quad (6)$$

En la tabla II se muestran valores del incremento de bloqueo, tráfico y número de circuitos para el caso de $n_{max}=5$, bajo la condición de que el bloqueo original P_b , calculado mediante la fórmula de Erlang, sea inferior al 1%.

El efecto de la repetición de llamadas provoca en este caso un bloqueo total prácticamente constante en torno al 5%. Esto se traduce en un incremento del tráfico en torno al 10%, similar

A^0	N^0	$P_{tot\%}$	f_{rib}	f_{rit}	f_{ric}
50	64	4.743	5.62	1.165	1.141
150	170	5.025	5.606	1.116	1.106
250	273	5.203	5.597	1.101	1.095
350	375	5.278	5.593	1.093	1.088
450	476	5.468	5.584	1.089	1.086

TABLE II

VALORES CARACTERÍSTICOS DEL EFECTO DE REPETICIÓN DE LLAMADA
PARA $n_{max} = 5$

al del número de circuitos, para reducir de nuevo el bloqueo al 1%.

Sin embargo, esta expresión no tiene en cuenta el efecto de la repetición de llamada sobre la probabilidad de bloqueo de una llamada original. Este efecto se puede contabilizar en el caso $t_s \gg t_r$, véase [1], calculando el bloqueo que produce un tráfico dado por (7)

$$A' = A^0 \cdot (1 + P_b \cdot n_{max}) \quad (7)$$

De esta forma se obtiene un incremento del bloqueo superior, como se ve en la tabla III.

A^0	N^0	$P_{tot\%}$	f_{rib}	f_{rit}	f_{ric}
50	64	6.013	7.253	1.479	1.364
150	170	8.749	9.428	1.292	1.255
250	273	9.656	10.519	1.257	1.225
350	375	1.0623	11.41	1.246	1.223
450	476	10.405	11.864	1.227	1.208

TABLE III

VALORES CARACTERÍSTICOS DEL EFECTO DE REPETICIÓN DE LLAMADA
PARA $P_{rb} = 0.99$ y $n_{max} = 5$

Dado que en nuestro caso no se puede considerar exactamente que $t_s \gg t_r$ (1800;30), para calcular el factor de incremento, promediaremos los obtenidos bajo los dos métodos anteriores como se muestra en la figura 2.

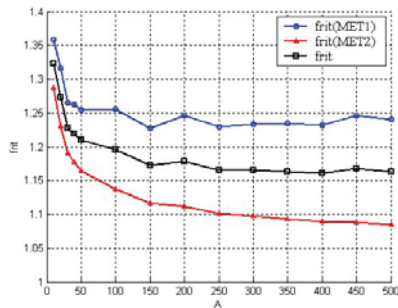


Fig. 2. Influencia del tráfico inicial f_{rit} y f_{roc} en el caso III.

En la figura 2 se pueden diferenciar dos tramos claramente, un primer tramo no lineal y un segundo tramo casi lineal. Lo normal sería que la f_{rit} fuera lineal con A , sin embargo cuando coincide que el tiempo entre llegadas (t_{ia}) es comparable a t_r ,

es muy probable que la rellamada coincida con la siguiente llamada. Esto hace que la probabilidad de pérdida de llamadas independientes aumente, lo que se refleja en máximos cerca de t_{ia} . En nuestro caso, con n_{max} reintentos, el efecto se desplaza hasta $n_{max} \cdot t_r$ segundos.

III. CONGESTIÓN

Es interesante estudiar a continuación el comportamiento de los dos modelos desarrollados anteriormente ante la congestión del sistema. El efecto de congestión se estudiará mediante la introducción de un factor de congestión ($f_{con} > 1$) que modificará el tráfico ofrecido a la red como se muestra en la ecuación (8).

$$A_{con} = f_{con} \cdot A^0 \quad (8)$$

A. Tráfico de Voz

El grado de servicio del sistema (GoS) se degradará debido a dos factores, el incremento de tráfico debido a la congestión (f_{con}) y por el tráfico adicional introducido por la repetición de llamadas. En la figura 3 se muestra la influencia de los dos efectos combinados sobre la probabilidad de pérdida.

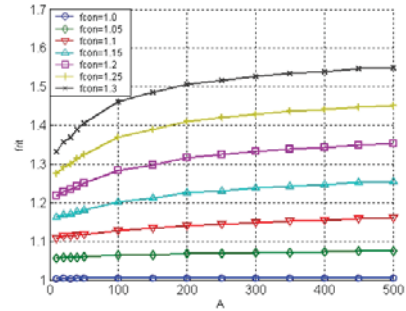


Fig. 3. Relación f_{rit} - f_{con} para tráfico de Voz.

En la figura 3 se puede observar la elevada linealidad del factor de incremento de tráfico para tráficos altos así como su elevada no linealidad para tráficos bajos.

B. Tráfico de acceso a Internet

El caso de tráfico de Internet es más complejo que el tráfico de voz. Como se ha comentado anteriormente, para el tráfico de voz, la influencia que ejercía la congestión era mayor que la del fenómeno de repetición. Sin embargo, en el caso de tráfico de Internet los dos efectos tienen parecida importancia y sus efectos se yuxtaponen.

En la figura 4 se puede observar como se yuxtaponen los diferentes efectos. Para factores de congestión bajos, se puede observar cómo el fenómeno que domina es el de impaciencia (obsérvese el característico máximo debido a la coincidencia de t_{ia} con t_r). Sin embargo, cuando el factor de congestión crece, podemos observar cómo el aumento de tráfico debido a congestión domina sobre el tráfico generado mediante la repetición de llamadas.

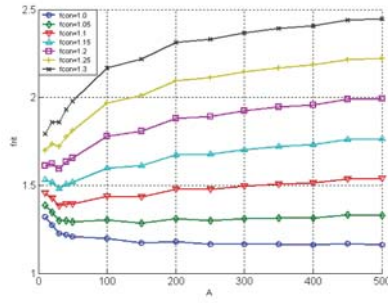


Fig. 4. Relación f_{rit} - f_{con} para tráfico de Internet.

IV. MODELO ANALÍTICO DIMENSIONADO

Haremos uso a continuación de los modelos anteriormente expuestos para desarrollar una fórmula analítica que nos permita un dimensionado sencillo de una red de conmutación de circuitos con tráfico de voz e Internet. Para ello a partir del tráfico original, calcularemos de acuerdo a la ecuación (9) un tráfico de Poisson equivalente que modele la suma del tráfico original con el tráfico generado por el fenómeno de impaciencia, que nos permitirá el dimensionado de la red mediante la utilización directa de la fórmula de Erlang.

$$A_e = f_{rit} \cdot A^0 \quad (9)$$

Para el tráfico de voz no es necesario realizar este sobredimensionado previo del tráfico que se ofrece al sistema. Se puede observar que en el peor caso, el incremento porcentual de tráfico no supera el 0.5%, lo que implica que el efecto de la repetición de llamadas en el tráfico de voz puede ser ignorado a efectos de dimensionado.

Sin embargo, para el caso de tráfico de Internet nos encontramos con un tráfico en el cual la suma del tráfico ofrecido y el tráfico generado por las repeticiones no es de tipo Poisson. Por ello, la fórmula de Erlang a priori no es adecuada para el dimensionado. Sin embargo, utilizando la expresión (9) y realizando una regresión de tipo hipereconómica sobre el factor de incremento de tráfico se obtiene la relación aproximada mostrada en la ecuación (10).

$$f_{rit} = a \cdot e^{(-A^0)^m} + b \quad (10)$$

donde $a = 1.353$ $b = 1.157$ $m = 0.305$

En la figura 5 se muestra la relación entre la f_{rit} obtenida de forma analítica y la curva de regresión por la que se aproxima.

Para dimensionar ahora el sistema completo se suman las contribuciones de tráfico de tipo Poisson obtenidos de las ecuaciones anteriores.

$$A_e = A_v + A_i \cdot (a \cdot e^{(-A_i)^m} + b) \quad (11)$$

Como se observa en la ecuación (11), el tráfico equivalente con el que se dimensiona se obtiene mediante la suma de los dos momentos principales correspondientes al tráfico de voz y tráfico de Internet. Otros estudios realizan un desarrollo

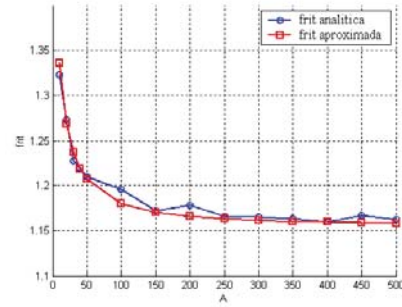


Fig. 5. Relación f_{rit} analítico - f_{rit} aproximada.

de forma similar al expuesto pero teniendo en cuenta dos momentos para cada distribución obteniéndose resultados muy similares a los expuestos en este artículo.

En el caso de que se quisiera tener un sobredimensionado para tener reserva respecto a congestión, se realizaría un proceso similar aproximando f_{rit} a las curvas obtenidas en las figuras 3 y 4. En este caso, el tráfico de voz se modifica de forma significativa debido a la congestión, luego sería necesario el desarrollo de una ecuación del tipo (9) también para el tráfico de voz.

V. CONCLUSIONES

Este artículo ha expuesto la metodología de diseño e implementación de un modelo simple para el dimensionado de redes de telecomunicación basadas en conmutación de circuitos.

Este modelo ha sido verificado mediante un simulador de redes de conmutación de circuitos que ha sido desarrollado por el Grupo de Ingeniería Telemática de la Universidad de Cantabria. Los resultados de los estudios del modelo y de las simulaciones cumplen con los requisitos fijados inicialmente. Este modelo analítico está siendo utilizado actualmente por autoridades reguladoras europeas para el estudio del incremento de costes de la red telefónica nacional del operador dominante debido al tráfico Internet, véase [4].

Entre las diferentes líneas de trabajo futuro destaca el estudio y desarrollo de un modelo analítico para el cálculo del bloqueo equilibrado del tráfico multitasa de diversas clases de servicio considerando técnicas de reserva de recursos.

REFERENCES

- [1] M. Poza, J. Aguilar, E. López. *Extensión de la fórmula de Erlang-B para servicios de voz e Internet*. Proc. Telecom I+D. Madrid 1999.
- [2] E.E. Cohen, A.A. Fredericks, C.D. Pack. *The Internet and The Public Switched Telephone Network - A Trouble Marriage*. Proc. to the 16th International Teletraffic Congress 16, Elsevier Science B.V. Junio 1999.
- [3] H. Akimaru, K. Kawashima. *Teletraffic. Theory and Applications*. Ed. Springer, 2ª Edición 1999.
- [4] M. Brickmann, A. Dieke, K. D. Hackbarth, G. Kulempkampff, K. H. Neumann. *Estudio económico-técnico sobre una tarifa plana para el acceso a Internet* (en alemán). Informe confidencial para la Comisión del Mercado de Telecomunicación RegTP. Ed WIK-Consult. Bad - Honnef 2002.